

Л. В. Чучкова*, О. Г. Ленивцева, А. С. Белов, А. Д. Вялова

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

* *L_Chuchkova@bk.ru*

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук *А. А. Батаев*

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Ti–TiB–TiC,
СФОРМИРОВАННЫХ ПРИ ОБРАБОТКЕ
ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ
В ВОЗДУШНОЙ АТМОСФЕРЕ**

В работе представлены результаты исследований покрытий, полученных при наплавке порошка карбида бора на титан методом электронно-лучевой обработки в воздушной атмосфере. Сформированные покрытия состоят из частиц карбида и борида титана, которые обладают высокой прочностью, жаро- и износостойкостью. Изменение концентрации наплавляемого порошка карбида бора привело к увеличению размера упрочняющих частиц, повышению толщины легированного слоя до 1,65 мм и среднего уровня микротвердости до 6410 МПа. Износостойкость исследуемых образцов увеличилась в 3 раза в сравнении с титаном.

Ключевые слова: структура покрытий, титановый сплав ВТ1-0, борид титана, карбид титана, электронно-лучевая обработка, микротвердость, износостойкость.

L. V. Chuchkova, O. G. Lenivtseva, A.S. Belov, A. D. Vyalova

**STRUCTURE AND PROPERTIES OF Ti–TiB–TiC SYSTEM ALLOYS
FORMED BY PROCESSING WITH A HIGHLY CONCENTRATED
ELECTRON BEAM IN THE AIR ATMOSPHERE**

The paper presents the analysis of coatings formed by cladding of boron carbide powders on the titanium. The coatings consist of titanium carbide and titanium boride particles, which have high strength, wear and heat resistance. The change in the concentration of boron carbide powder leads to an increase in the size of the hardening particles, the thickness of the alloying layer enlarges up to 1,65 mm, and an average microhardness grows to 6410 MPa. The wear resistance of the samples is 3 times higher in comparison with titanium.

Keywords: structure of coatings, titanium alloy VT1-0 (Cp–Ti), titanium boride, titanium carbide, electron beam treatment, microhardness, wear resistance.

В настоящее время одной из актуальных проблем машиностроения является повышение триботехнических свойств конструкционных материалов. Это связано с тем, что некоторые сплавы, несмотря на их уникальные свойства, не применимы в условиях абразивного износа. К таким металлам относятся титан и сплавы на его основе. Несмотря на его превосходную коррозионную стойкость, высокую удельную прочность и жаростойкость, применение его в промышленности ограничивает низкая износостойкость, высокий коэффициент трения и склонность титана к схватыванию в паре трения с другими материалами [1–4].

Легирование и термическая обработка титановых сплавов приводят к изменению прочностных характеристик, однако значительного улучшения триботехнических свойств не происходит [5–6]. Для повышения прочности и износостойкости титана необходимо формирование в поверхностных слоях высокопрочных частиц. Такой тип упрочнения позволяет значительно повысить триботехнические свойства на поверхности заготовки, не приводя к изменению исходной структуры и свойств в объеме материала.

Метод электронно-лучевой обработки в воздушной атмосфере позволяет сформировать в поверхностных слоях материала высокопрочные соединения (оксиды, бориды и карбиды). В тоже время, данным методом возможна обработка крупногабаритных заготовок [7].

Для создания упрочненных слоев на титановом сплаве BT1-0 был выбран порошок карбида бора, который при обработке позволяет сформировать высокопрочные частицы карбида и борида титана. Также, в состав исходной порошковой насыпки входили порошки титана и сварочные флюсы (CaF_2 и LiF). В процессе работы было реализовано 3 режима наплавки, в которых изменяемой величиной стала концентрации порошка карбида бора (10, 20 и 30 вес. %) (табл.). Параметры обработки, такие как ток пучка (28 мА), скорость перемещения образца (25 мм/с), частота сканирования (50 Гц) и плотность порошковой насыпки ($0,2 \text{ г/см}^3$) оставались неизменными для всех режимов.

Таблица

Режимы обработки

№	Состав порошковой смеси, %		Ток пучка, мА	Скорость перемещения образца, мм/с
	Ti + B_4C	CaF_2 + LiF		
1	40 + 10	40 + 10	28	25
2	30 + 20			
3	20 + 30			

Металлографические исследования сформированных слоев проводились на световом и растровом электронном микроскопах Carl Zeiss

Axio Observer Z1m и Carl Zeiss EVO50 XVP, соответственно. Исследуемые поверхностно-упрочненные слои состоят из частиц карбида и борида титана равномерно распределенных в титановой матрице. Анализ дифракционных картин, полученных с поверхностей всех образцов позволил подтвердить, что покрытия состоят из α (α') – Ti, TiC и TiB. Структурные особенности упрочненных слоев представлены на рисунке.

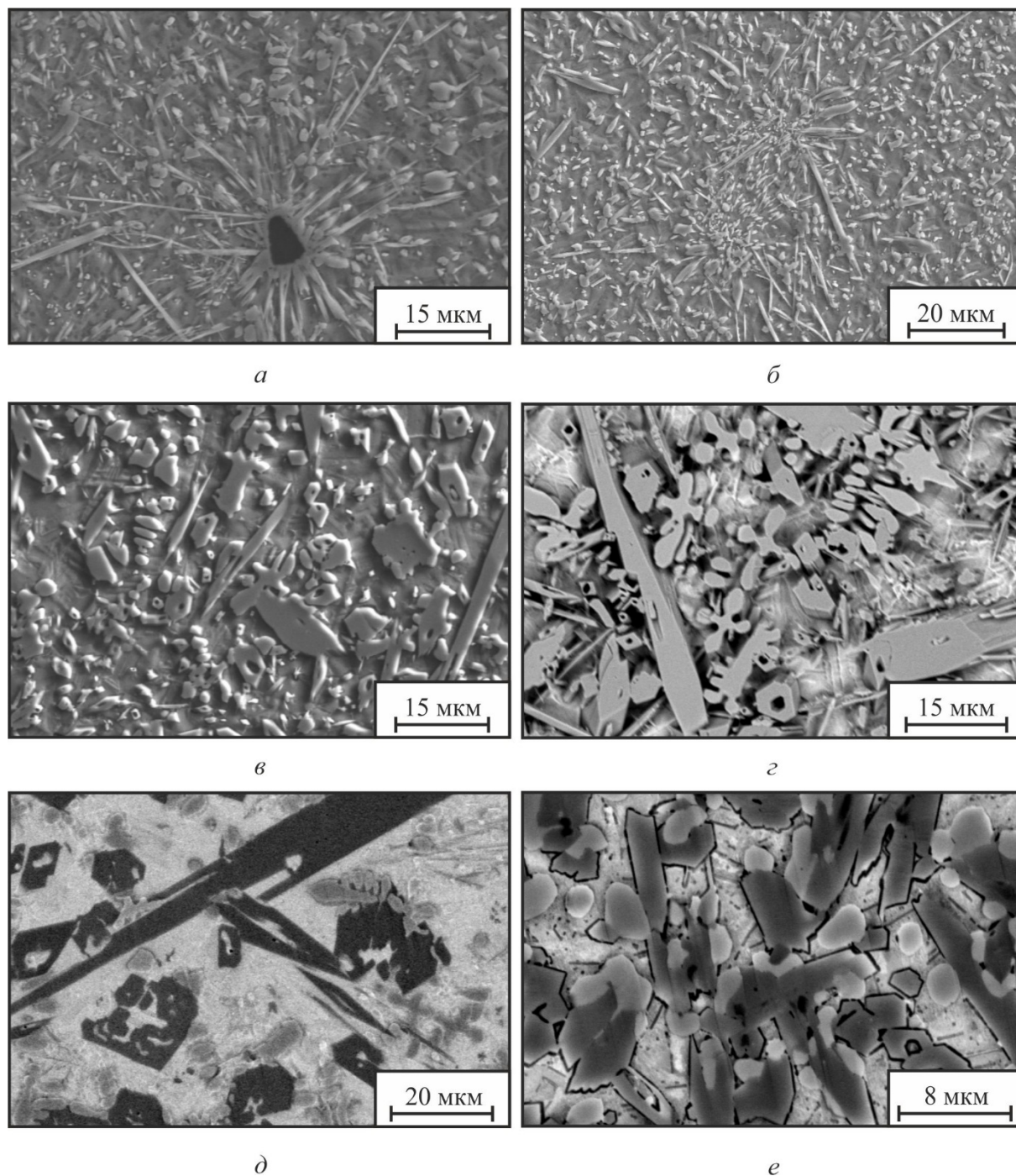


Рис. Структурные особенности исследуемых покрытий, полученных методом вневакуумной электронно-лучевой обработки: *а, б* – 10 вес. % B_4C ; *в, г* – 20 вес. % B_4C ; *д, е* – 30 вес. % B_4C

Первый образец, полученный при наплавке 10 вес. % порошка карбида бора имеет мелкодисперсную структуру, в которой карбид титана кристаллизуется в виде отдельных мелких округлых или дендритных частиц. Борид титана имеет форму тонких игольчатых зерен или частиц неправильной шестиугольной формы. Повышение концентрации наплавляемого порошка карбида бора до 20 вес. % приводит к росту карбидных и боридных кристаллов, что видно на рис. 6, 2. Наплавка 30 вес. % порошка карбида бора позволяет сформировать в структуре крупные кристаллы борида титана, на стенках которого формируются округлые частицы карбида титана, тем самым образуя неразрывные частицы неправильной формы.

В структуре всех исследуемых образцов были обнаружены нерастворившиеся частицы порошка карбида бора вблизи зоны термического влияния. Изменение концентрации порошка карбида бора в исходной порошковой насыпке с 10 до 30 вес. % привело к увеличению толщины легированного слоя с 1,15 до 1,65 мм.

В процессе дюрометрических исследований было зафиксировано, что наплавка 10 вес. % порошка карбида бора приводит к повышению среднего уровня микротвердости по глубине легированного слоя до 4250 МПа. Максимальный уровень микротвердости исследуемых покрытий был получен у третьего образца полученного при концентрации порошка карбида бора в исходной порошковой насыпке равной 30 вес. %. Его микротвердость составила 6410 МПа, что более чем в 3,5 раза превышает твердость исходного материала основы.

Результаты испытаний на трение в условиях воздействия закрепленных абразивных частиц показали, что наплавка 10 вес. % порошка карбида бора позволяет увеличить износостойкость полученного материала в 1,3 раз, в сравнении с титановым сплавом ВТ1-0. Повышение концентрации карбида бора в исходной порошковой насыпке до 30 вес. % привело к максимальному увеличению износостойкости, которая в 2,4 раза превысила технически чистый титан.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение электронного луча в воздушной атмосфере позволяет сформировать на поверхности титановых заготовок качественные покрытия толщиной до 1,65 мм. Сформированные в процессе наплавки высокопрочные частицы карбида и борида титана приводят не только к повышению среднего уровня микротвердости по глубине легированного слоя до 6410 МПа, но и позволяют увеличить износостойкость титанового сплава в условиях абразивного износа в 2,4 раза в сравнении с технически чистым титаном.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тавадзе Ф. Н. Коррозионная стойкость титановых сплавов / Ф. Н. Тавадзе, С. Н. Манджгаладзе. Москва : Металлургия, 1969. 208 с.
2. Цвиккер У. Титан и его сплавы / У. Цвиккер. Москва : Металлургия, 1979. 512 с.
2. Hutchings I. M. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials / I. M. Hutchings. Butterworth-Heinemann, 1992. P. 280.
3. Long M. Friction and surface behavior of selected titanium alloys during reciprocating-sliding motion / M. Long, H. J. Rack // Wear. 2001. V. 249. P. 157–167.
4. Илларионов А. Г. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие / А. Г. Илларионов, А. А. Попов. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. 137 с.
5. Титановые сплавы в машиностроении / Б. Б. Чечулин [и др.]. Москва : Машиностроение, 1977. 248 с.
6. Influence of chemical composition of initial powders on structure and properties of «Ti–Ta–Zr» coatings fabricated on cp-titanium substrates by electron beam cladding / V. V. Samoylenko [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2014. V. 66. Art. 012026.